

4.Эльтерман В.М. Вентиляция химических производств. – М.: Химия, 1980. – 285 с.

5.Строй А.Ф., Макаренко О.В. Розрахунок повітрообміну в приміщеннях при періодичному надходженні шкідливих речовин // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.93. – К.: Техніка, 2010. – С.399-404.

6.Jan Ferencowicz. Wentylacja i klimatyzacja. Wydanie II poprawione i uzupełnione. – Warszawa: Arkady, 1964-668 st.

7.Строй А.Ф. Охлаждения і нагрівання приміщення при періодичній вентиляції // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.93 – К.: Техніка, 2010. – С.407-414.

*Отримано 28.11.2010*

УДК 697.34

О.М.МАЛЯВИНА

*Харківська національна академія міського господарства*

## **ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБОПРОВОДІВ РОЗПОДІЛЬЧИХ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ НА ЇХ ПОШКОДЖУВАНІСТЬ**

Досліджуються залежності параметру потоку відмов, часу напрацювання на відмову і ймовірності безвідмовної роботи від строку експлуатації і діаметру трубопроводів розподільчих теплових мереж методами статистичного моделювання.

Исследуются зависимости параметра потока отказов, времени наработки на отказ и вероятности безотказной работы от срока эксплуатации и диаметра трубопроводов распределительных тепловых сетей методами статистического моделирования.

There should be studied dependence of failures flow parameter, time between failures and the probability of failure-free operation on operation term and diameters of heating networks pipelines under repair, using methods of statistical modeling.

*Ключові слова:* діаметр, товщина трубопроводу, надійність, теплопостачання, трубопровід, експлуатація, теплові мережі, параметр потоку відмов, час напрацювання на відмову, імовірність безвідмовної роботи.

Надійна робота систем централізованого теплопостачання (СЦТ) є однією з основних складових життєзабезпечення населених місць.

Надійність СЦТ значною мірою залежить від надійності теплових мереж.

Визначення впливу геометричних характеристик діаметру і товщини стінки трубопроводів теплових мереж на їх пошкоджуваність дозволяє уточнити основні експлуатаційні чинники зниження надійності теплопроводів, а також покращити планування витрат матеріально-технічних ресурсів, у тому числі й кількості труб відповідних діаметрів.

На показники надійності теплових мереж впливає значна кількість факторів, оцінити вплив кожного з них окремо і в комплексі

дуже важко, тому доцільно використовувати методи статистичного моделювання, які враховують вплив всіх факторів на показники надійності.

Надійність ремонтіваних трубопроводів теплових мереж визначається параметром потоку відмов  $\omega$ , міжремонтним часом  $t_p$  і ймовірністю безвідмовної роботи  $P(t)$  [1].

Параметр потоку відмов  $\omega$  визначається за формулою

$$\omega = n / L \text{ (1/км·рік)}, \quad (1)$$

де  $n$  – число відмов за певний проміжок часу;  $L$  – довжина теплопроводів, км.

Час напрацювання на відмову  $t_p$  визначається так:

$$t_p = 1 / \omega. \quad (2)$$

Ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  можна обчислити за формулою

$$P(t) = e^{-\omega t}, \quad (3)$$

де  $e$  – основа натурального логарифма;  $t$  – час, за який наступає  $n$  відмов.

Згідно з наведеними вище залежностями, основним показником надійності є параметр потоку відмов  $\omega$ , на базі якого визначаються  $t_p$  і  $P(t)$ .

На думку авторів робіт [2-6], пошкоджуваність трубопроводів теплових мереж зменшується із збільшенням їх діаметру, а в [7] вказується на зменшення пошкоджуваності із збільшенням товщини стінки труби.

В роботі [8] наведено припущення, що чим більша бокова поверхня труб, тим більший і параметр потоку відмов, а зменшення товщини стінки його збільшує.

На залежність пошкоджуваності трубопроводів теплових мереж від їх діаметру вказується в [9].

В роботі [1] не встановлено залежність параметру потоку відмов трубопроводів від їх діаметру.

В [10] значення параметру потоку відмов трубопроводів збільшується із збільшенням їх діаметру.

Значення щільності ймовірності відмов трубопроводів за діаметрами ранжується у напрямку його зменшення для періоду експлуатації до 17 років: 250-500 мм, 70-132 мм, 150-200 мм, а після 17 років, відповідно: 150-200 мм, 70-132 мм, 250-500 мм [11].

Аналогічна залежність щільності ймовірності відмов від діаметрів трубопроводів вказується в роботі [12].

Як видно з літературного огляду, на пошкоджуваність трубопроводів впливають їх геометричні характеристики: товщина стінки і діаметр.

Отже, необхідно встановити залежність пошкоджуваності трубопроводів теплових мереж від їх діаметру на довгостроковий період їх експлуатації з урахуванням їх класифікації і умов експлуатації.

Строго кажучи, пошкоджуваність теплопроводів залежить від відношення діаметру (бокової поверхні) трубопроводів до товщини його стінок, при цьому діаметр впливає прямо пропорційно, а товщина стінки – обернено пропорційно.

З метою наглядності і простоти використання залежності показників надійності трубопроводів теплових мереж від строку їх експлуатації, і враховуючи, що відношення діаметра трубопроводу до товщини його стінки є дискретною величиною, яка збільшується із збільшенням діаметра, доцільно вивчати залежність показників надійності трубопроводів від діаметра.

Для визначення залежності параметру потоку відмов від строку експлуатації трубопроводів розподільчих теплових мереж і їх діаметру було використано дані щодо пошкоджуваності теплопроводів за період 2003-2005 рр., довжиною 703,2 км, діаметром 57-219 мм, побудованих у 1968-1996 рр., підключених до 84 ЦТП КП ХТМ, з використанням методик [13-14].

На рисунку наведено графічні залежності параметру потоку відмов від строку експлуатації трубопроводів теплових мереж і їх діаметру.

З рисунку видно, що характер залежності трубопроводів усіх діаметрів ідентичний і включає три періоди:

I період – збільшення параметру потоку відмов з 9 до 20-23 років за рахунок впливу руйнуючих факторів;

II період – зменшення параметру потоку відмов в період від 20-23 до 30-33 років, що пояснюється капітальним ремонтом найбільш пошкоджуваних ділянок трубопроводів;

III період – стрімке збільшення параметру потоку відмов з 30-33 до 36 років та ймовірно і в подальшому за рахунок різкого зменшення товщини стінки труб при їх корозії і зростанням при цьому впливу тиску теплоносія.

Згідно з рисунком, також впливає, що із збільшенням діаметру трубопроводів розподільчих теплових мереж параметр потоку відмов збільшується.

На основі експериментальних даних було одержано статистичну модель залежності параметру потоку відмов трубопроводів теплових

мереж від діаметру і строку їх експлуатації:

$$\omega = -0,3307 t + 0,0026 D + 0,0482 t^2 - 0,0021 t^3 + 0,00003 t^4. \quad (4)$$

Статистичні характеристики побудованої моделі:

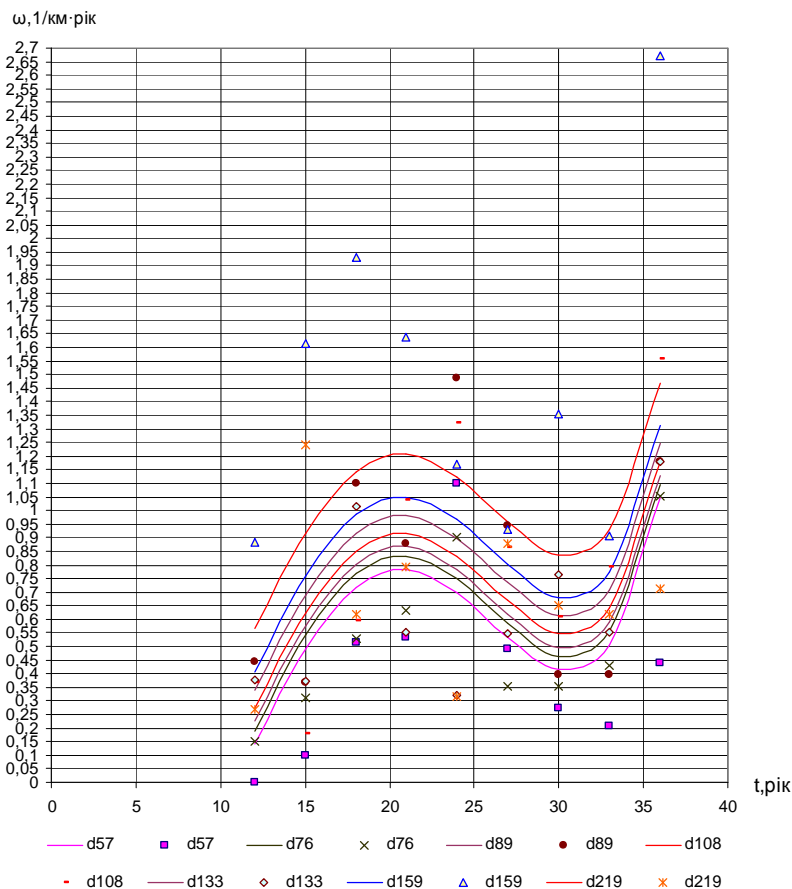
коефіцієнт кореляції  $R = 0,90$ ;

коефіцієнт детермінації (нормуємий)  $R^2 = 0,77$ ;

стандартна помилка  $S = 0,41$ ;

значимість параметрів  $b_i$  – значима;

модель є адекватною з імовірністю  $P = 0,95$ .



Залежність параметру потоку відмов від строку експлуатації трубопроводів теплових мереж і їх діаметру

Вплив діаметру трубопроводу і товщини його стінки на динаміку параметру потоку відмов має двоякий характер. З одного боку, із збільшенням діаметру збільшується в основному й товщина стінки, і при постійній швидкості корозії час появи свища збільшується. З іншого – із збільшенням діаметру збільшується бокова поверхня трубопроводу і відповідно ймовірність появи язв, що в свою чергу при інтенсивній дії корозії і неякісному матеріалі труб може значно прискорювати процес появи свищів.

Крім того, при однакових значеннях тиску теплоносія в трубопроводі і товщині його стінки пошкодження тіла труби при однаковій глибині язви наступить при більшому діаметрі [19].

Результуючий ефект впливу вказаних тенденцій на швидкість появи свищів і відповідно на параметр потоку відмов залежить від якісного виготовлення труб, якості будівельних робіт та умов експлуатації, як з внутрішньої сторони трубопроводу, так і з зовнішньої.

Співставлення одержаних результатів щодо впливу діаметру теплопроводів на їх пошкоджуваність показало: підтверджено вплив діаметру трубопроводу на значення параметру потоку відмов [9], при цьому із збільшенням бокової поверхні трубопроводів більша ймовірність кількості пошкоджень [8].

Одержані результати корелюються з результатами, наведеними в [10], тобто при збільшенні діаметру трубопроводів параметру потоку відмов збільшується.

Меншу пошкоджуваність трубопроводів діаметром 250-1400 мм, ніж трубопроводів діаметром 50-200 мм [5] і трубопроводів 50-150 мм проти трубопроводів діаметром >700 мм [3], а також трубопроводів діаметром більше 200 мм проти трубопроводів меншого діаметру [2] можна пояснити тим, що трубопроводи діаметром 50-200 мм – це розподільчі трубопроводи, а трубопроводи діаметром понад 200 мм – магістральні, й інтенсивність зовнішньої корозії перших значно більша, ніж других.

Оскільки дані про залежність пошкоджуваності трубопроводів від діаметру одержано за 2 роки і довжина їх була незначною, і при цьому за 1970 р. половина даних вказувала на зменшення пошкоджуваності із збільшенням діаметру, а друга – ні, то однозначний висновок щодо зменшення пошкоджуваності трубопроводів із збільшенням їх діаметру зробити важко [4].

Зменшення пошкоджуваності трубопроводів із збільшенням їх діаметру авторами [1] пояснюється більшим строком експлуатації трубопроводів великого діаметру і меншою їх довжиною.

Розподільчі трубопроводи в основному прокладено в непрохідних каналах, які погано герметизовані, в них постійно знаходиться волога, а в нижній частині часто й мул [4], що призводить до інтенсивної корозії зовнішньої поверхні трубопроводів.

Магістральні трубопроводи прокладаються в основному в прохідних добре загерметизованих каналах разом з іншими інженерними комунікаціями, де поява вологи недопустима. Тому дія корозії на зовнішню поверхню магістральних трубопроводів значно менша, ніж на розподільчі трубопроводи малого діаметра. А враховуючи те, що пошкодження тіла трубопроводів викликає в основному зовнішня корозія (до 3/4 від результуючої дії корозії) [16-18] і ймовірність виникнення язв і їх ріст із збільшенням бокової поверхні збільшується, то пошкоджуваність розподільчих трубопроводів зростає із збільшенням діаметру.

Для магістральних трубопроводів, де вплив зовнішньої корозії менш значний, переважаючою складовою в процесі пошкоджуваності є товщина стінки, із збільшенням якої при збільшенні діаметру час появи свища зменшується.

Слід також зазначити, що в розподільчих трубопроводах на відміну від магістральних присутні трубопроводи гарячого водопостачання, пошкоджуваність яких більша, ніж трубопроводів теплопостачання [15].

Важливим показником надійності трубопроводів теплових мереж є час напрацювання на відмову – середнє значення часу між суміжними відмовами.

На основі залежності для визначення параметру потоку відмов (4) і використовуючи формулу (2) отримуємо значення часу напрацювання на відмову

$$t_p = \frac{1}{-0,3307t + 0,0026D + 0,0482t^2 - 0,0021t^3 + 0,00003t^4} \cdot \quad (5)$$

Відповідно до залежності параметру потоку відмов від строку експлуатації трубопроводів теплових мереж діаметром 57-219 мм (4) і використовуючи (3) визначається  $P(t)$  – імовірність безвідмовної роботи вказаних діаметрів:

$$P(t) = e^{-\omega t} = e^{-t(-0,3307 + 0,0026D + 0,0482t^2 - 0,0021t^3 + 0,00003t^4)} \quad (6)$$

Таким чином, визначено, що для розподільчих трубопроводів теплових мереж в умовах їх експлуатації параметр потоку відмов зале-

жить від строку експлуатації і поверхні трубопроводів, а значить і діаметра, із збільшенням якого параметр потоку відмов збільшується. Одержано статистичні моделі залежності параметру потоку відмов, часу напрацювання на відмову, ймовірності безвідмовної роботи розподільчих трубопроводів теплових мереж від строку їх експлуатації і діаметру.

- 1.Ионин А.А. Надежность систем тепловых сетей. – М.: Стройиздат, 1989. – 268 с.
- 2.Родичев Л.В., Каримов З.Ф., Пакшин А.В. Эффективность применения двух-трубных бесканальных теплопроводов с изоляцией из пенополиуретана // Промышленная энергетика. – 1997. – №12. – С.12-16.
- 3.Минич Э.П., Кнотько П.Н. О повреждаемости тепловых сетей и резервировании источников для тепловых потребителей первой категории // Промышленная энергетика. – 1980. – №5. – С.42-43.
- 4.Громов Н.К. Городские теплофикационные системы. – М.: Энергия, 1974. – 256 с.
- 5.Глоза А.Т., Яковлев Б.В., Лысенко Ю.Д., Мельцер М.Я., Шленок О.Ф. Прогнозирование повреждаемости подземных тепловых сетей // Теплоэнергетика. – 1989. – №6. – С.18-21.
- 6.Стрижевский И.В., Сурис М.А. Защита подземных теплопроводов от коррозии. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 344 с.
- 7.Сазонов Э.В., Кононова М.С. К вопросу диагностирования состояния инженерных систем // Известия вузов. – 1999. – №6. – С.93-96.
- 8.Хасилев В.Я., Такайшвили М.К. Об основах методики расчета надежности и резервирования тепловых сетей // Теплоэнергетика. – 1972. – №4. – С.14-19.
- 9.Гришкова А.В., Красовский Б.М., Романова Т.Н. Белоглазова Т.Н. Надежность систем теплоснабжения с учетом современных требований к теплотехническим характеристикам здания // Известия вузов «Строительство». – 2001. – №5. – С.73-76.
- 10.Умеркин Г.Х., Дроздов С.А., Гончаров А.М., Демиденко Н.Н. Определение остаточного ресурса тепловых сетей по статистическим данным об авариях // Новости теплоснабжения. – 2007. – №11. – С.42-46.
- 11.Сазонов Э.В., Кононова М.С. Определение эмпирических функций распределения отказов городских теплопроводов // Известия вузов «Строительство». – 2000. – №2-3. – С.62-64.
- 12.Сазонов Э.В., Кононова М.С. Сравнительный анализ эмпирических функций распределения отказов городских теплопроводов // Известия вузов «Строительство». – 2000. – №7-8. – С.85-87.
- 13.Лобко О.М. Методика анализа повреждаемости трубопроводов // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.93. – К.: Техніка, 2010. – С.321-324.
- 14.Лобко О.М. Методика вибору шагу експлуатації теплопроводів при дослідженні їх пошкоджувальності // Науковий вісник будівництва. Вип.58. – Харків: ХДТУБА, 2010. – С.196-202.
- 15.Маявіна О. М. Статистичне моделювання показників надійності теплопроводів і трубопроводів гарячого водопостачання теплових мереж // Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2010. – №12(82). – С.48-54.
- 16.Причины увеличения повреждений трубопроводов теплосети от внутренней коррозии / Ю.В.Балабан-Ирменин, В.М.Липовских, С.Е.Бессолицын и др. // Теплоэнер-

гетика. – 1993. – №12. – С.71-74.

17.Родичев Л.В. Статистический анализ процесса коррозионного старения теплопроводов // Строительство трубопроводов. – 1994. – № 9. – С.9-11.

18.Плавич А.Ю. Оценка и обеспечение уровня надежности водяных тепловых сетей: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М.: РГБ, 2005. – 17 с.

19.Антонов Е.А. Повышение надежности тепловых сетей // Электрические станции. – 1978. – №1. – С.36-39.

*Отримано 30.12.2010*

УДК 628.14

В.Г.НОВОХАТНІЙ, канд. техн. наук

*Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка*

### **ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ КІЛЬЦЕВИХ МЕРЕЖ ШЛЯХОМ СТРУКТУРНОГО РЕЗЕРВУВАННЯ**

Сформульовано конкретні принципи підвищення надійності кільцевих мереж при структурному резервуванні на основі аналізу надійності окремих структур.

Сформулированы конкретные принципы повышения надежности кольцевых сетей при структурном резервировании на основе анализа надежности отдельных структур.

Formulate of specific principles for improving the reliability of ring networks with reservation-dimensional structures based on reliability analysis of individual structures.

*Ключові слова:* кільцева мережа, надійність, резервування.

Принципи підвищення надійності кільцевих мереж завжди були метою досліджень фахівців. Останні публікації науковців [1, 2] свідчать про те, що продовжується пошук методів оцінювання надійності кільцевих мереж, але, зважаючи на складність проблеми, остаточно розв'язку поки що немає.

Інженерні мережі (водопровідні, газопровідні, теплопровідні та інші) можуть бути за накресленням у плані (рис.1) розгалуженими (тупиковими), замкненими (кільцевими) та комбінованими (кільцевими з відгалуженнями).

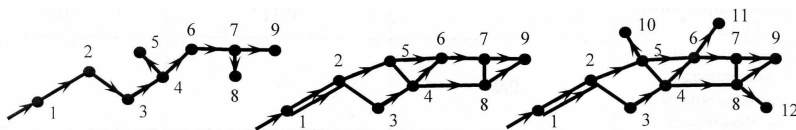


Рис.1 – Схеми інженерних мереж:  
*а* – розгалужена; *б* – кільцева; *в* – комбінована.

При розрахунках надійності мереж розглядаються наступні структури мереж: одна ділянка (наприклад, ділянка 7-9 на рис.1, *а*), послідовна (наприклад, поєднані ділянки 1-2-3-4-6-7-8 на рис.1, *а*),